

INTRODUCTION

Il existe une relation étroite entre le "développement durable" et le milieu naturel. Les responsables doivent prendre de plus en plus en considération les menaces climatiques, le développement économique et la croissance démographique. Mais, l'aridité est une contrainte majeure au développement et même une politique très volontariste d'irrigation ne peut résoudre tous les problèmes. Le développement durable d'un tel milieu repose avant tout sur une gestion raisonnée des ressources naturelles, du sol, de la végétation et de l'eau. Parmi les ressources végétales (Palemborg, 1984), les pistacheraies naturelles dont le pistachier de l'Atlas (le Bétoum) compris fait partie de celles à protéger et à mieux valoriser (Quezel et *al.*,1999 ; Benhassaini,2004). En effet, cette espèce n'est sans doute pas la plus importante ou la plus nécessaire des réalités naturelles d'Afrique du nord, mais c'est certainement l'essence noble par excellence des pays constituant son aire naturelle, le Maroc et l'Algérie (Bouzenoune,1984 ; Belhadj, 1999 ; Abousalim et Khalli, 1992). Le simple fait d'avoir associé le mot « Atlas » au nom de l'espèce traduit toute son importance (Fournier, 1977). C'est un arbre "multi usages", chaque partie ou production de l'arbre (bois, feuilles, fruits, huile) est utilisable et est une source de revenus ou de nourriture pour l'utilisateur.

En plus de son rôle économique, le bétoum joue un rôle irremplaçable dans l'équilibre écologique. Grâce à son système racinaire puissant, il contribue au maintien du sol et permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne qui menace de désertification une bonne partie de la région où il existe (Rognon, 1996). De plus, grâce à son effet ombrage et améliorateur du sol, il peut permettre une production agricole non négligeable dans les conditions climatiques actuelles. Enfin, de nombreux organismes vivants (faune, flore et microflore) sont directement liées à sa présence. La disparition du pistachier de l'Atlas entraînerait inéluctablement la disparition de plusieurs espèces, provoquant une diminution de la biodiversité dans la région, c'est à dire une réduction du patrimoine génétique, aussi bien pour l'arbre que les autres espèces animales, végétales ou microbiennes (Demarteau, 2005).

Par ailleurs, ce phénomène s'est aussi accentué par l'usage abusif des engrais conduisant à un processus de salinisation secondaire (HAMDY, 1999). Face à ces problèmes, l'introduction d'arbres ou d'arbustes fourragers tolérants à la salinité est l'une des techniques utilisées possible pour la valorisation de ces sols marginaux. En Algérie, nous assistons à une perturbation écologique, qui s'exprime par un déplacement progressif des espèces végétales sahariennes vers les écosystèmes arides et ceux de l'aride vers le semi-aride (QUEZEL ,2000).

Dans ce cadre là, nous nous intéressons au pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*. Desf) arbre très répandu dans le sud algérien. Il peut y être cultivé et supporter les vents forts et les longues périodes de sécheresse. Le pistachier de l'Atlas, est une espèce fort intéressante méritant une valorisation du point de vue écologique, environnemental et agronomique, impliquant des retombées positives certaines sur le volet socio économique.

De nombreux auteurs admettent depuis longtemps que les plantes accumulent beaucoup de composés communs aux plantes suite à des contraintes de l'environnement (TAYLOR, 1996 ; BELKHODJA et BENKABLIA, 2000). En effet, dans les milieux salés, les plantes s'adaptant métaboliquement en accumulant dans le cytoplasme des composés azotés quaternaires comme la proline pour exercer un ajustement osmotique dans la cellule (GOLDHIRS et *al.*, 1990 ; IRIGOYEN et *al.*, 1992). Il est connu aussi que le taux des sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress. Ceci a été vérifié par CHUNYANG (2003) chez des arbres adultes d'eucalyptus sous différents stress hydrique et par NOIRAUD et *al.*, (2000) chez le céleri sous stress salin .

L'importance de cette espèce fait l'objet de notre étude, nous nous proposons dans ce travail d'étudier certains aspects physiologiques et biochimiques dans des conditions semi contrôlées en appliquant des traitements avec une eau saline riche au NaCl à des différentes concentrations.

Pour cela nous avons structuré notre document de la manière suivante :

□ La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, en l'occurrence la salinité et la bibliographie de l'espèce étudiée.

□ La deuxième partie est réservée à une étude expérimental comporte la présentation du site expérimental et les différentes méthodes de travail utilisés pour étudier l'effet de la salinité sur la physiologie du pistachier.

□ La troisième partie présente les réponses de différents paramètres de morphologie et de physiologie de la variété de Djelfa, vis-à vis la salinité et l'interprétation de ces résultats.

Partie 01 : SYSTEMATIQUE ET MONOGRAPHIE DU PISTACHIER DE L'ATLAS**1.1. Historique :**

Le mot de Pistaches apparut dans la langue française au XIII siècle et vient de l'Italien pistachio, emprunté par l'intermédiaire du latin *pistacium* au grec pistakion, formé lui-même d'après l'ancien non persan pista, qui est la domination originelle du fruit la pistache (BROSSE, 2000). D'après Al-saghir, (2010), le pistachier était apparu il y a 80 millions dans L'essie centrale. Il a été introduit en Europe dès le début de l'ère chrétienne. La première fois qu'il fût introduit aux états unis America. c'était en 1890 et son essai fût dans la station pilote en Californie en 1904 (Debbache, 1998).

1.2. L'origine :

Le pistachier est originaire d'Asie Centrale. Présent en Turquie depuis 7000 ans avant J.C., il a été introduit en Italie dès le premier siècle avant J.C. et par la suite, sa culture s'est étendue aux autres pays méditerranéens et aux états unis America en 1854 (Moghtader, 2010).

1.3. Systématique de l'espèce pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) :

Cet arbre s'appelle tismelal en langue berbère et b'toum est un nom collectif. Au singulier on dit el botma et el btayma (Manjauze, 1968) est une espèce ligneuse et spontanée pouvant atteindre 10 m de haut, *Pistacia atlantica* Desf est classé taxonomiquement de la façon suivante :

Tableau 1 : Classification botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Yaaqobi et al., 2009).

Régne	Plantae
Embranchement	Tracheobionta
Super-division	Spermatophyta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Sapindales
Famille	Anacardiaceae
Genre	Pistacia
Espèce	Pistacia atlantica

1.4. Description de l'espèce :

Le pistachier de l'Atlas constitue un fond floristique de grande importance en Afrique du Nord.

1.4.1.L'arbre :

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) communément appelé El Betoum est une espèce ligneuse (Quezel et Santa,1963) et spontanée endémique d'Afrique du Nord, c'est un plant dioïque (Monjause,1980).

C'est un arbre puissant pouvant atteindre 20m de hauteur. Il dispose d'un tronc bien individualisé hémisphérique, le porte est arrondi et à ramifications étalées(Monjauze,1980 ; Belhadj et *al.*, 2008).

Les grands sujets de pistachers de l'Atlas peuvent atteindre facilement les 1 000 ans d'âge (Monjauze, 1982 ; Belhadj, 1999). L'espèce est tolérante pour plusieurs types de sols y compris les sols alcalins. Elle se contente d'une faible pluviométrie de l'ordre de 150 mm et parfois moins! Le Bétoum se régénère et se développe dans les endroits les plus arides où peu d'espèces d'arbres peuvent s'établir et persister. Sa croissance est cependant très lente.



Figure1.1 : Arbre du pistachier de l'Atlas (Originale,2019)

1.4.2. Les Feuilles :

Elles sont composées, stipulées, à rachis finement ailé et à folioles lancéolées obtuses au sommet (Fennane et *al.*, 2007). Leur couleur varie de vert foncé sur la surface supérieure à vert clair sur la surface inférieure (Khaldi et Khouja, 1995), un peu coriaces, et mesurent rarement plus de 12 cm de longueur totale, leur plus grande largeur au tiers inférieur du limbe. En automne, elles rougissent opportunément dans les jardins (Monjauze, 1980).



Figure1.2: Feuille du pistache de (l'original,2019)

1.4.3. L'inflorescence :

Inflorescence en grappe rameuse. La floraison qui apparaît juste avant la feuillaison débute la mi-mars (Yaaqobi et al., 2009).

Figure1.3 : Fleurs mâles du pistachier de l'Atlas.

(A) : Grappes rameuses des fleurs mâles **(B)** : Fleur isolée (x40) **(C)** :Éclatement des anthères au niveau des fentes de déhiscences (x40) **(D)** : Coupe transversale d'une anthère (x40)
(a) : Fente de déhiscence **(b)** : Grains de pollen **(c)** : Anthère éclatée **(d1)** : Anthère
(d2) :Sépale **(d3)** : Bractée.

1.4.5.Fruits :

C'est une drupe ovoïde de 6 à 8 mm de long, d'abord jaune puis bleu foncé à maturité, à un seul noyau osseux ne contenant qu'une graine (Somon,1987), appelée el Khodiri par les populations locales, appellation dû à la prédominance de la couleur vert foncé à maturité. La maturité de graine coïncide avec la fin d'été (c'est-à-dire août-septembre). (Khaldi et Khouja, 1995).

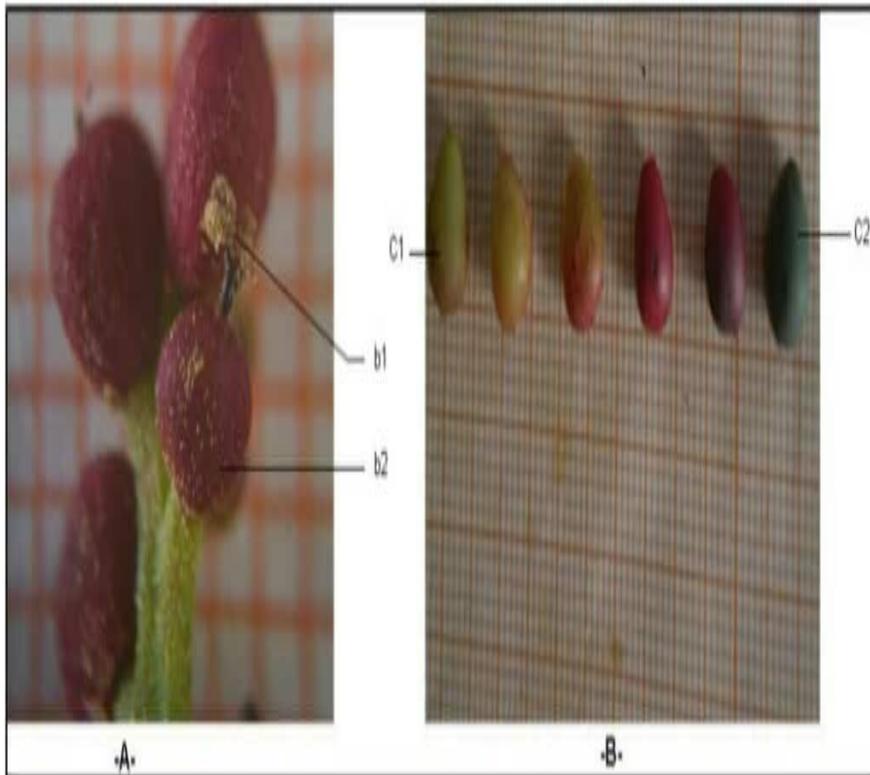


Figure 1.6: Fruits du pistachier de l'Atlas. (A) Début de la fructification (x20) (B) Maturation (b1) Stigmate (b2,C1) Fruit jeune (C2) Fruit mûr.

1.4.6.Le bois :

D'après MONJAUZE (1980), le bois du Bétoum est lourd, peu résilient, de bonne conservation. A l'aubier jaunâtre peu épais succède un bois de cœur brun flammé. La faible longueur des troncs exploitables et leur médiocre rectitude ne permettent pas dans les conditions habituelles de croissance d'un arbre isolé, facilement multicaule et bas branchu, d'en tirer des débits commercialisables. Le bois est donc un bois d'artisanat et, bien entendu, un bois excellent pour le chauffage et la carbonisation. .(figure 1.7)

1.4.7.L'écorce :

L'écorce présente des fissures longitudinales (KHALDI et KHOUJA, 1995), et produit une résine-mastic qui exsude naturellement de façon abondante par temps chaud (BELHADJ, 1999)



1.4.8. Le système racinaire :

Il est très puissant. En germant, la graine émet un très long pivot qui atteint parfois 7m de profondeur et un système racinaire latéral pouvant atteindre la longueur de 5 à 10 m du collet de l'arbre. Cet ensemble de racines permet au pistachier de supporter les périodes sèches de l'année en cherchant l'humidité dans le sol et se développer dans les sols médiocres et dans les zones arides (Boutbol, 1986 ; Lemaistre, 2000).



Figure 1.8: photo présentant la racine pivotante(droite)de plantules âgées d'un mois de *Pistacia atlantica* Desf.et une racine stressée après repiquage(Gauche).

1.5. Biogéographie du pistachier de l'Atlas :

1.5.1. Aire de répartition du genre *Pistacia* dans le monde :

L'aire de répartition du genre *Pistacia* est discontinue Il a une remarquable répartition holartique (Boudy ,1955) , On compte quatre régions biogéographique , méditerranéenne, IranoTouranienne, Sino-japonaise et mexicaine (Seigue ,1985),Ce genre a fait son apparition au tertiaire (Deysson ,1997) Il comprend 11 espèces dont 5 sont typiquement méditerranéennes *Pistacia lentisque* (DEROW), *Pistacia terebenthus* (boutiche, année), *Pistaciapalestina*,*Pistaciavera*(FOUSTOK) et *Pistaciaatlantica* (Bétoum) (Gatin ,1975).

1.5.2. Aire de distribution de *Pistacia atlantica* Desf.dans le monde :

Pistaciaatlantica, est un élément méditerranéen commun en Berbérie, que l'on trouve aussi au moyen orient, désert et steppe de Syrie et en Iran (Boudy ,1955).On le trouve aussi en Crimée et en afghanistan (Seigue, 1985). Somon (1987), note que le pistachier de l'Atlas est un arbre originaire du Nord de l'Afrique. Certains auteurs sont unanimes sur le fait que le Bétoum est un élément endémique du Nord –africain ou il se rencontre dans le Sahara septentrional, dans

les Dayas au pied de l'Atlas saharien algérien et marocain (Quezel et Santa, 1963, Ozenda, 1991).

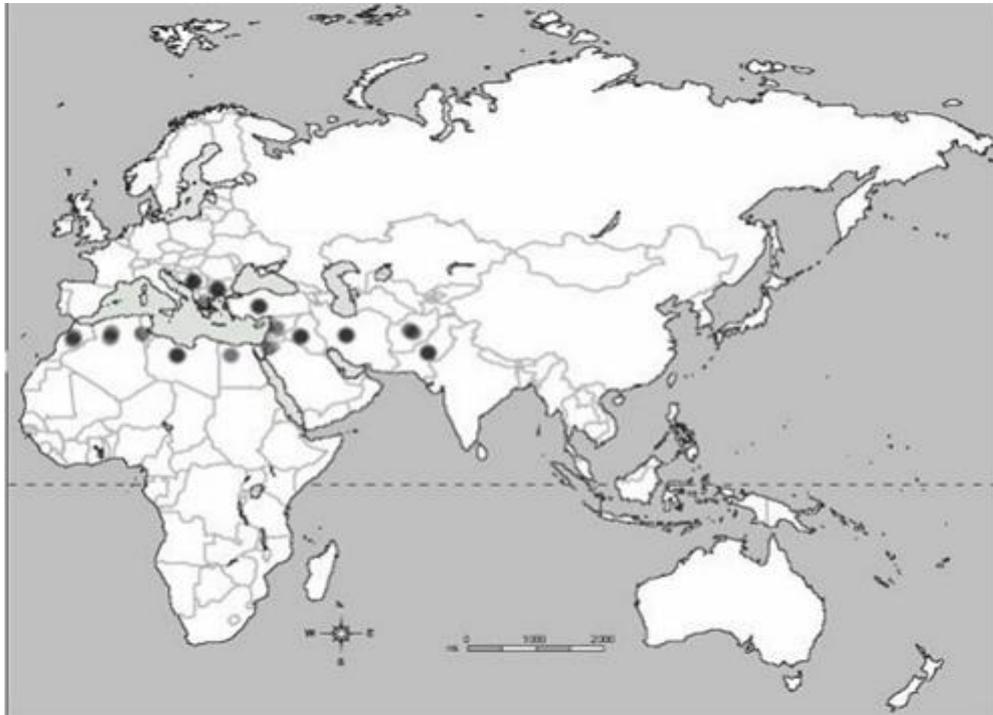
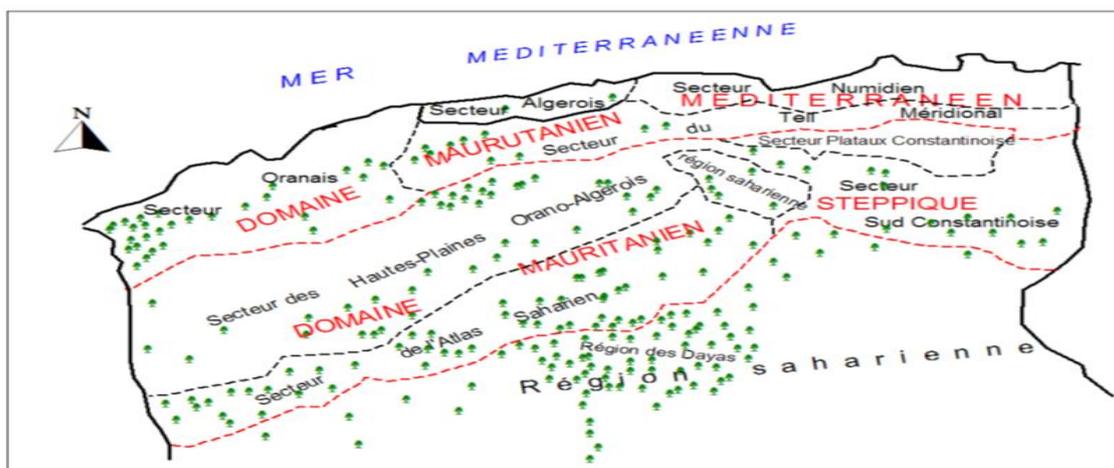


Figure 1.9 : aire naturelle de pistacia atlantica (Al-saghir, 2006)

1.5.3. Aire de distribution de pistaciaatlantica Desf en Algérie :

On trouve le pistachier de l'Atlas mitidjien (Brichet, 1931), il existe aussi en petit peuplement dans l haut plateaux au niveau des Dayas, dans les parties les mieux arrosées de l'Atlas saharien ou il peut atteindre 2000 m d'altitude. Dans le Hoggar, le Bétoum se rencontre sous forme de petits bouquets ou à l'état de pieds isolés (QUEZEL ,1965). Monjauze (1968), localise *Pistacia atlantica* dans le secteur de l'oranais, de l'algérois, des Hauts Plateaux et des Hautes Plaines de L'Atlas saharien.



Echelle. 1/4400000

Figure1.10: Distribution de *Pistaciaatlantica*Desf. en Algérie (Monjauze, 1968)

1.6. Cause de dégradation du pistachier de l'Atlas :

En Algérie, si la régénération de l'espèce avait été protégée depuis longtemps, elle se serait traduite par la constitution de populations plus homogènes, plus nombreuses (Monjauze, 1980) et plus productives. Le déclin du pistachier est dû d'abord à des raisons économiques et à des budgets investis très limités dans la production, la régénération et l'entretien des pistacheraies naturelles des dayas. Parmi les facteurs ayant contribué à la dégradation des pistacheraies on peut citer : 109 (i) L'exploitation anarchique des pistachiers comme fourrage et bois de chauffage par les bergers et la population locale. (ii) Le pâturage empêchant la régénération naturelle et le développement des jeunes pousses. (iii) Le réseau routier qui traverse la plaine de Oussera (destruction de centaines d'individus). (iv) Mauvais état sanitaire des arbres (attaque par le puceron doré provoquant des cloques ou des galles au niveau des feuilles).



A-Développement du réseau routier (**Aïn Oussera**) B-Surpâturage (**Région de Messad**)

Figure 1.11 : Facteurs de dégradation des pistacheraies (Iftissane, 2013).

1.7. Caractéristique écologique et édaphique de l'espèce :

1.7.1. écologique :

Le pistachier de l'Atlas est un arbre héliophile, de l'étage aride et accessoirement de l'étage semi-aride cela n'exclut pas de trouver quelques spécimens éparpillés dans l'étage sub-humide et humide à hiver froid et doux (BOUDY, 1995), Il est xérophile qui peut vivre dans les conditions écologiques les plus sévères.

Le pistachier de l'Atlas est assez commun dans toute l'Algérie, il est rencontré à l'état dispersé sur les hauts plateaux, le Sahara septentrional, dans les régions des dayas au pied l'Atlas saharien marocain et algérien et même dans le Hoggar (Ozenda, 1983).

1.7.1.1. Température :

La température est un facteur critique dans la germination de la graine. A température optimale la germination est maximale et rapide (Alvarado et Bradford, 2002). Le métabolisme de la graine dépend de la température, elle affecte l'activité de l'ATPase, la respiration et la synthèse des protéines (Posmyk et al., 2001).

1.7.1.2. Pluviométrie :

Le pistachier de l'Atlas est un arbre d'une grande plasticité vis-à-vis de la sécheresse. Son adaptation reste exceptionnelle pour des grandes variations climatiques, hiver froid, été sec et chaud, pour une bonne fructification de cette essence, la tranche pluviométrique doit être entre 200 et 500 mm/an (Monjauze, 1965). Alyafi(1979). Note que l'espèce se développe dans une tranche pluviométrique allant de 250 à 600mm. Il bénéficie de 1300mm/an au niveau de sa limite septentrionale à l'ouest d'Alger(Blida) et reçoit 600mm/an sur le bord méridional de l'Atlas tellien entre Benchicao et Berrouagia, enfin jusqu'à 250mm/an dans la plaine de Boughar-Boughezoul. Au sud du pays, le Bétoum reçoit seulement 70mm/an dans la région de Ghardaia, au pied de l'Atlas saharien (Chraa,1988).

Dans la région occidentale de l'Algérie, l pistachier de l'Atlas se rencontre entre l'isohyète 511mm/an à Mascara et 325mm à Relizane (Alcaraz, 1970). Le Bétoum craint l'humidité atmosphérique, l'aire salin et les irrigations abondantes (Bricet, 1931).

1.7.1.3. Lumière :

La germination, la survie des jeunes plantes et leur développement ultérieur dépendent de la lumière. La quantité de lumière reçue par une graine dépend de sa position dans le sol, des caractéristiques de l'enveloppe de la graine et de toutes les autres structures en autour d'elle (Pons, 2000). Les graines sur la surface de sol se comportent différemment des graines enterrées à différentes profondeurs dans le sol (Atwell et *al.*, 1999).

1.7.1.4. L'humidité :

Un état minimum d'hydratation est nécessaire pour la germination des graines. L'humidité est importante pour le maintien de la vie des cellules, pour l'activation des enzymes, la translocation et le stockage des réserves (Copeland et McDonald, 1995). Dans la graine, l'élongation des cellules est l'étape la plus sensible au stress d'eau (Hegarty et Ross, 1980).

1.7.2. édaphiques :**1.7.2.1. Altitude :**

Le pistachier de l'Atlas peut se développer jusqu'à 2000 m d'altitude dans les montagnes sèches (Atlas saharien) (Belhadj,1999). Par ailleurs, Alcaraz(1970) note que le pistachier de Atlas se rencontre à une altitude de 45m dans la région de mohammedia (Ouest Algérien), et jusqu'à une altitude de 590m à Mascara.

1.7.2.2. Sol :

On rencontre le pistachier de l'atlas dans les zones steppiques et sahariennes dans les dayas, ou parfois on a l'affleurement de la croûte calcaire à la surface (Monjauze, 1980) .

Cependant, il préfère les sols lourds (Kaska, 1994), les pieds jeunes sont sensibles aux gelées et se développent sur les alluvions de plaines. Le calcaire n'affecte pas son développement (Abdelkrim, 1985 in Chaba et al., 1991).

Elle préfère aussi les sols bien drainés (Maamri, 2008)

1.8. Les intérêts agro économiques du pistachier de l'Atlas:**Le pistachier de l'atlas est utilisé comme :****-port greffe :**

Le pistachier de l'Atlas est connu comme excellent port greffe pour le pistachier fruitier (*Pistacia vera*), son utilisation permettra donc d'enrichir la production de pistachier (BRICHET, 1931). Ceci est prouvé par des expériences effectuées au jardin botanique d'Alger (Vergas, 1990).

-Fourrage :

Par ces feuilles l'arbre fournit un aliment apprécié par le bétail en période de disette ; il procure jusqu'à 0.35 unités fourragères selon les données de 1996 du haut commissariat au développement de la steppe (Djelfa, Algérie). Une étude récente montre que les semences broyées de *Pistacia atlantica* utilisées comme aliment de volailles a donné des résultats intéressants sur leur croissance, car ce composé est très pauvre en éléments anti-nutritionnels tels que les tanins qui sont de l'ordre de 1,43% comparés à ceux des glands de chêne (5%) (Saffarzadah et al., 2000).

-Alimentaire :

Ses graines présentent un taux considérable de protéines et de glucides, de plus elles fournissent une excellente huile alimentaire de l'ordre de 40% (Benhassaini, 1998) . Ceci est particulièrement intéressant pour la valorisation de cette espèce dans la lutte contre la malnutrition protéino_énergétique et les carences nutritionnelles en général (Benhassaini, 2004). La fraction d'acide gras insaturé est elle aussi majoritaire et confère à l'huile de Betoum une haute valeur nutritionnelle. En effet, plus une huile est riche en acides gras insaturés (poly-insaturés), moins elle est stable du point de vue oxydatif, mais bien meilleur sur le plan nutritionnel (Pelletier et al., 1995).

-plante médicinale :

La présence des stérols dans l'huile la rend intéressante du fait qu'ils soient les précurseurs de la provitamine D (lute contre le rachitisme). Les phytostérols peuvent interférer avec l'absorption intestinale du cholestérol totale (Nigon et *al.*, 2000) les phytostérols, sont présents dans les végétaux. ils sont efficaces en abaissant le cholestérol de plasma et a été proposé comme agents protecteurs contre l'hypercholestérolémie (Kannel et al., 1971). Les huiles ont un effet protecteur face à la pathologie cardio-vasculaire (Morand et Tran, 2001). L'oléorésine de *Pistacia atlantica Desf.* présente les propriétés d'un produit antiseptique. Cet effet antiseptique a été bien mis en évidence sur les espèces microbiennes étudiées ainsi que la nature du produit. Cela confirme l'usage ethno pharmacologique de ce produit comme masticatoire par les populations nomades des hautes plaines steppiques (Benhassaini, 2004)

-Source de bois et de la résine :

Son bois est largement utilisé comme combustible seulement sa dureté le met quelque peu à l'abri des coupes (Ozenda, 1977) de ce fait il peut être utilisé en ébénisterie et marqueterie et fournir une source de revenus intéressante aux populations locales (Vergas, 1990).

-Ecologique :

En raison de sa résistance à la sécheresse et de ses faibles exigences pluviométriques, le pistachier peut être employé comme essence de reboisement dans les stations les plus sévères (Boudy, 1995). Il est rapporté par Brichet (1931) et Whitehouse (1957) que le pistachier vrai greffé sur le Bétoum ne craint pas l'eau d'irrigation quelque peu saumâtre, ni les légèrement salés. Les feuilles aussi peuvent être un élément écologique très important car elle participe à la fertilisation du sol.

Partie2 : La salinité**1.9. La salinité :**

La salinité peut être définie comme étant la quantité globale des sels contenus dans "la solutions du sol" (Imalet, 1979). Elle constitue l'un des facteurs abiotiques les plus répandus au niveau de la planète et qui limite fortement les rendements agricoles, notamment dans les régions arides et de semi-arides, où les précipitations sont limitées et ne sont pas suffisantes pour transporter les sels du profil racinaire des plantes (Khales&Baaziz, 2006). La salinité se produit après l'évaporation de l'eau dans son état pur laissant derrière elle les sels et les autres substances (Carter, 1975). Elle se produit en raison de l'augmentation des concentrations de ces sels comme le chlorure de sodium (Sun, 2007).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles -plus solubles que le gypse- ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions provenant des ces sels est susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure, qu'ils rendent diffusent (Aubert, 1976). Ces deux caractéristiques de ces sols modifient également et diminuent le développement de leur végétation et des cultures qu'on peut faire. Certains des sols salés n'ont que l'un de ces caractères, d'autres présentent les deux à la fois. Les sels les plus solubles habituels dans ces sols sont les chlorures, sulfates, bicarbonates, carbonates, borates, nitrates parfois fluorures de sodium. Dans quelques cas se sont les sels de potassium. Les sels de magnésium ; sulfates en particulier peuvent s'y trouver. Enfin les chlorures de calcium ou de magnésium, ou mixtes de ces deux cations, donnent également naissance à des sols salés, dans ce cas ils sont dits sols hygroscopiques (Aubert, 1976).

1.9.1. La salinisation :

La salinisation est un processus d'enrichissement du sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin (Keren & Levy, 2000). D'après Mermoud (2006), l'accumulation des sels se fait la surface du sol et plus particulièrement dans la zone racinaire, elle se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol. Ces sels sont le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}), le carbonate (CO_3^{2-}), le bicarbonate (HCO_3^-) et le sodium (Na^+). L'accumulation de sodium est aussi appelée sodification. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau, quand l'eau s'évapore, les sels restent. Tout d'abord, la salinisation implique une accumulation de sel par des processus naturels du fait d'une forte teneur en sel du matériau parent ou des nappes souterraines (salinisation primaire). En second lieu, la salinisation est provoquée par des interventions humaines (salinisation secondaire), telles que des pratiques d'irrigation inappropriées, par exemple avec de l'eau d'irrigation riche en sel et/ou par un drainage insuffisant (Anonyme, 2009).

1.10.L'origine du sol salé :

Les principaux sels solubles qui interviennent dans la formation des sols salés sont :

- **Les carbonates** : les plus rencontrés sont le carbonate de sodium (Na_2CO_3), le bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$), le carbonate de calcium ($CaCO_3$) et les carbonate de magnésium ($MgCO_3$).
- **Les sulfates** : ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont: le sulfate de magnésium ($MgSO_4$), le sulfate de sodium ($NaSO_4$) et le sulfate de calcium ($CaSO_4$).

• **Les chlorures** : représentés principalement par: le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl₂) et chlorure de magnésium (MgCl₂), de forte toxicité (Aubert, 1982).

1.11:L'origine du sol salé :

L'origine de La salinité des sols se résume, d'une part, par la salinité primaire, d'origine naturelle, due à la proximité de la mer, où à l'existence de dépôts salins géologiques où parfois actuels, c'est la salinisation primaire.

d'autre part, la salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à des activités anthropiques en particulier à l'irrigation mal conduite dans certaines zones agricoles (Epstein, 1985; Le Houerou, 1986 ; Franchis et Ibanez, 2003).

1.11.1. Salinisation primaire et naturelle :

La salinité primaire s'explique par l'accumulation de sels dans le sol ou d'eaux souterraines sur une longue période de temps en deux processus naturels :

- L'altération des matériaux de base contenant des sels solubles : Les processus d'altération des roches se décomposent et la libération des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble.
- Le dépôt de sels océaniques effectués dans le vent et la pluie : «les Sels cycliques » sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium.

L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg / kg de sel, la concentration de sels diminue avec la distance de la côte. Si la concentration est de 10 mg / kg, il s'ajoute 10 kg / ha de sel pour chaque 100 mm de précipitations par an. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec une pluviométrie annuelle moyenne.

1.11.2. Salinisation secondaire(ou d'origine humaine) :

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration).

Les causes les plus fréquentes sont :

- Le défrichement des terres et le remplacement de la végétation pérenne avec des cultures annuelles,
- L'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel,

· Un drainage insuffisant et un système d'irrigation déséquilibré...

Avant l'intervention des activités humaines, dans des climats arides ou semi-arides, l'eau utilisée par la végétation naturelle a été en équilibre avec la pluie. A la compensation de mode d'irrigation, nous avons distingué une modification des interrelations entre le système pédosphérique, le système hydrosphérique et le système atmosphérique qui ont été en équilibre, entre autre les précipitations d'une part, et l'eau d'irrigation sur l'autre et la physico-chimie des sols d'autre part.

L'excès d'eau soulève la nappe souterraine et mobilise des sels précédemment stockés dans le sous-sol et les amène jusqu'à la zone des racines. Les plantes utilisent l'eau et laissent le sel jusqu'à ce que l'eau du sol devienne trop salée pour l'absorption d'eau par les racines des autres. L'eau s'évapore en laissant des dépôts de sels à la surface et formant ainsi «brûlure du sel » dans des cas. Le sel peut également se mobiliser latéralement vers les cours d'eau pour augmenter leur degré de salinité.

1.12. Les causes de la salinité du sol :

En Algérie, si la régénération de l'espèce avait été protégée depuis longtemps, elle se serait traduite par la constitution de populations plus homogènes, plus nombreuses (Monjauze, 1980) et plus productives. Le déclin du pistachier est dû d'abord à des raisons économiques et à des budgets investis très limités dans la production, la régénération et l'entretien des pistacheraies naturelles des dayas. Parmi les facteurs ayant contribué à la dégradation des pistacheraies on peut citer : 109 (i) L'exploitation anarchique des pistachiers comme fourrage et bois de chauffage par les bergers et la population locale. (ii) Le pâturage empêchant la régénération naturelle et le développement des jeunes pousses. (iii) Le réseau routier qui traverse la plaine de Oussera (destruction de centaines d'individus). (iv) Mauvais état sanitaire des arbres (attaque par le puceron doré provoquant des cloques ou des galles au niveau des feuilles).

1.13. Répartition des sols salés :

1.13.1. Dans le monde :

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle mondiale. Selon la FAO (1972) et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la terre. Généralement, le monde perd en moyenne 10 ha de terres cultivables par minute dont 3 ha (plus de 1,5 millions d'ha par an) à cause de la salinisation. Aujourd'hui, il y a à peu près 400 millions d'ha des terres qui sont affectées par la salinisation (Bot, 2000). En Afrique, près de 40

millions d'ha y sont affectés, soit près de 2% de la surface totale. Au Proche-Orient, près de 92 millions d'ha soit environ 5% de la surface totale, Le tableau 1 présente l'extension globale de ces sols au niveau international.

Tableau 2: Extension globale de la salinité secondaire dans le monde superficie en million d'hectare (**Ghassemi et al., 1995**).

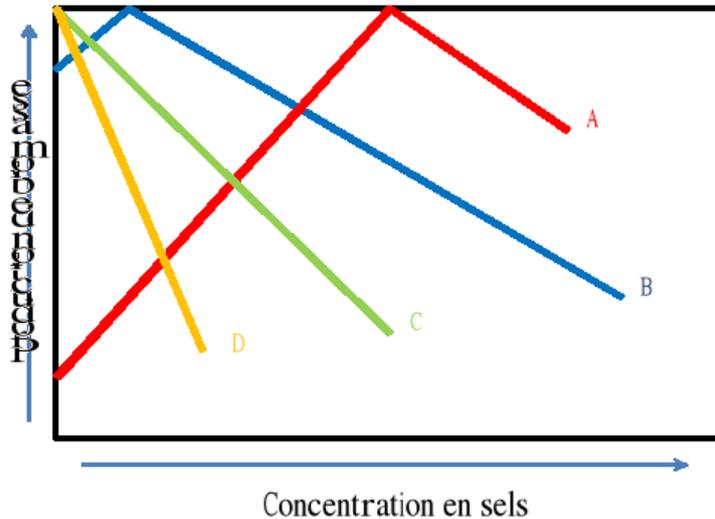
Salinité Continent	Légère	modérée	forte	extrême	Total
Afrique	4.7	7.7	2.4	-	14.8
Asie	26.8	8.5	17.0	0.4	52.7
Amérique	2.1	1.8	0.5	0	4.4
Europe	1	2.3	0.5	0	3.8
Australie	-	0.5	-	0.4	0.9
Total	34.6	20.8	20.4	0.8	76.6

1.13.2. En Algérie :

Selon Durand (1958), en Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être. Les sols salins sont très répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, dans le bas Chelif, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains comme le Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au -delà.

1.14. La classification des plantes :

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Cependant, les plantes ne sont pas égales face au stress salin suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées :



Graphique 1 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité
Le graphique 1, est adapté par **Hagemeyer (1996)**, présente la production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité.

A. Les Halophytes vraies, dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions : *Salicornia europaea*, *Suaeda maritima*...

B. Les Halophytes facultatives, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sel : *Plantago maritima*, *Aster tripolium*...

C. Les Non-Halophytes résistantes, supportant de faibles concentrations en sel : *Hordeum* sp. ...

D. Les Glycophytes ou Halophobes, sensibles à la présence de sel parce que leur croissance est diminuée.

Allaoui (2006) a montré que la grande majorité de stress salins est provoquée par des sels de Na, particulièrement le NaCl. De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de Na⁺ (plus exactement, on devrait parler de plantes natrophyles ou natrophobes). Une plante halophyle obligatoire ne peut pas se développer sans un excès de sel alors qu'une plante halophyle facultative se développera

normalement dans des conditions nonstressantes. À l'inverse, une plante glycophyle obligatoire ne se développera jamais en présence d'un excès de sels (**Levitt, 1980**). Les plantes peuvent être regroupées dans des classes de tolérance tel que décrit dans **Brady et Weil (2002)** : dans chaque classe, désignée par un niveau de tolérance (sensibles à tolérantes) et de salinité (CE de 2 à 12 dS m⁻¹) sont regroupées les espèces dont la croissance est réduite de moins de 10%.

Ainsi, il a été démontré que les plantes supérieures, incluant glyco- et halophytes, n'ont pas un métabolisme tolérant aux excès de sel même si certains organismes montrent une bonne croissance dans l'eau de mer (**FLOWERS 1972, GREENWAY ET OSMOND 1972**). L'avantage essentiel des halophytes sur les glycophytes réside dans la gestion des ions en excès dans l'organisme.

1.15. L'accumulé des sels dans les plantes :

Une plante cultivée sur un sol riche en sel doit faire face à la pénétration du sel dans ses tissus. Ce dernier est rejeté ou accumulé par les différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires.

A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et aux feuilles. Là, ils sont soit stockés (plantes de type *include**), soit au contraire très peu retenus et revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes de type *excluder**) (figure 1). Les mécanismes de répartition du sel dans les tissus végétaux sont cependant très peu connus. Il semblerait que les ions chlorure et sodium pénètrent dans les cellules de la racine, puis circulent à travers le cortex racinaire jusqu'à la stèle (voie symplasmique) où ils sont sécrétés dans le xylème comme les autres ions minéraux. A l'échelle de la cellule, on considère que le chlorure et le sodium pénètrent par des transporteurs ou canaux ioniques peu spécifiques.

La saturation de l'espace intercellulaire (ou apoplasme) des parties aériennes par le sel apporté par le xylème est le facteur déterminant de la nécrose et de la mort cellulaire. Le sel concentré dans ce compartiment provoque une sortie d'eau intracellulaire qui conduit à une déshydratation rapide des cellules. Deux types de comportements ont pour effet d'éviter la saturation en sel de l'apoplasme.

Dans le premier type, *include*, le sel montant est piégé et accumulé dans les cellules des parties aériennes, plus particulièrement dans leur vacuole. Les mécanismes au travers de la membrane vacuolaire, le tonoplaste, ne sont pas encore complètement élucidés. Cependant, l'hypothèse la plus communément admise est que l'entrée du sodium se faisant contre son gradient électrochimique, l'énergie nécessaire au transport de cet ion serait fournie par le

gradient de protons engendré par la pompe à protons du tonoplaste. La vacuole se chargerait ainsi en sodium grâce à l'action d'un antiport en sodium-proton Na^+/H^+ , lequel serait entretenu par le fonctionnement accéléré des pompes à protons. L'existence d'un système d'échange Na^+/H^+ est largement admise. L'activité d'un tel antiport a été mise en évidence par divers auteurs chez des halophytes telles que *Atriplex numularia*, *Beta vulgaris*, *Dunaliella salina* et *plantago maritima*, ainsi que chez des glycophytes comme l'orge et le coton. Un gène codant pour un antiport Na^+/H^+ a été cloné et séquencé chez la levure *Schizosaccharomyces pombe* ; cette protéine présente des séquences homologues avec les antiports Na^+/H^+ isolés chez l'homme et les bactéries. Pour l'instant, aucun antiport de ce type n'a encore été isolé chez les végétaux.

Dans le second type, exclure, le sel véhiculé jusqu'au feuilles, faute d'y être piège, est réexporté vers les racines par le phloème. Dans ce cas, ce sont les cellules racinaires qui assurent la protection des parties aériennes, en limitant la quantité de sodium transportée par le xylème capacité à stocker les ions Na^+ et Cl^- dans la vacuole. Les limites des techniques analytiques font que les détails de la compartimentation ne sont pas encore connus de façon probante.

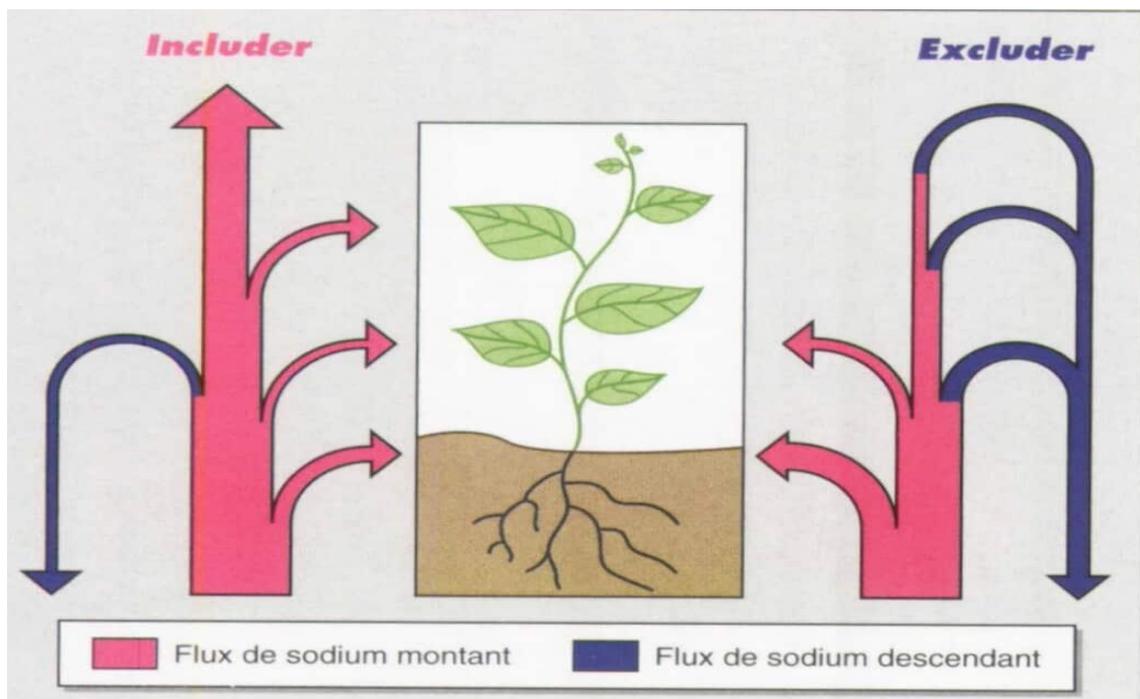


Figure1.12: schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes
(Levigneron et al.,1995)

1.16. Les effets de la salinisation sur le sol et la végétation :**1.16.1. L'effet de salinité sur le sol :**

L'influence des sels solubles et du sodium échangeable sur les propriétés physiques des sols a fait l'objet de nombreuses recherches (Tessier, 1984). En effet les forts taux de sodium échangeable peuvent influencer considérablement de nombreuses propriétés des sols comme la dispersion des particules argileuses (Grachev et *al.*, 1997), la dispersion de la matière organique (Amrhein et *al.*, 1992) et la conductivité hydraulique (Zahow et Amrhein, 1992).

Les conséquences traduites par l'ensemble de ces paramètres se manifestent dans le sol par une dégradation de la couche de surface aboutissant à la formation d'une croûte de battance pouvant atteindre plusieurs centimètres. Cette croûte a une influence négative sur les échanges sol – atmosphère (Abu Awwad et Akasheh, 1997).

1.16.2. Effet de la salinité sur la germination et la levée :

Le stress salin et hydrique peut réduire la germination en limitant l'absorption de l'eau par les graines (Boulghalghah et *al.*, 2006). Des études ont rapporté un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs glycophytes et halophytes (Belkhodja et bidai, 2004).

Les halophytes sont exposées à des variations de température et de salinité et leur succès est tributaire du maintien de leur viabilité et de leur capacité à germer facilement lorsque la température et le stress de la salinité sont réduits (Khan et Gul, 2005).

La salinité induite par le stress oxydatif pourrait être un raison de l'inhibition de la germination (Benamor et *al.*, 2005).

1.16.3. Effet de la salinisation sur la végétation :

La salinité du sol est l'un des principaux facteurs environnementaux qui affectent la production agricole dans les régions arides et semi-arides (Djekoun, 2010), est un problème majeur affectant l'agriculture dans le monde (Carillo, 2011). Processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'en suit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol. Les sels provenant de l'eau d'irrigation s'accumulent dans le sol en provoquant l'augmentation de la pression osmotique et peuvent conduire à la stérilisation du sol. D'une façon générale, la relation entre le rendement relatif des cultures et la salinité est à peu près linéaire sur la base de comparaison entre le rendement de la même culture en sols salé et non salé (Masmoudi, 2011).

1.16.3.1. Effet de la salinité sur la croissance :

Dans les zones arides et semi-arides, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole (Zid et Grignon, 1991). La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (Mohammad, 1998). La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina et *al.*, 2000). La salinité des sols et des eaux demeure, pour les régions arides et semi arides, un obstacle majeur à la croissance des végétaux. En effet, les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et/ou à l'effet toxique spécifique des éléments (Arbaoui et *al.*, 1999). Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Calu, 2006)

1.16.3.2. Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille :

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles, La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Parida et Das, 2005).

L'épaisseur du mésophylle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées). Le stress salin cause le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, le gonflement de la mitochondrie, la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste et la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique.

1.16.3.3. Effet de la salinité sur les racines :

Les racines sont les premiers organes confrontés à l'augmentation du sel, il a été observé que des concentrations importantes de polypeptides appelé osmotine, s'accumulent dans les plantes au niveau des vacuoles de cellules soumises à des élevées de sel (Singh1987).

1.16.4. Effet de la salinité sur l'absorption de l'eau dans la plante :

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Romer-oaranda et *al.*, 2001). Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *Suaeda salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (Lu et *al.*, 2002).

1.16.5. Effet de la salinité sur la nutrition minérale :

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions.

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} , donc l'interaction entre les ions Na^+ et Ca^{2+} (Jendoubi, 1997).

1.17. Les mécanismes de tolérance des plantes à la salinité :

a. Exclusion des ions :

Selon Sentenac & Berthomieu (2003), la plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent.

b. Compartimentation :

Un organisme peut difficilement exclure totalement le Na^+ de ses tissus. Chez les plantes, une des stratégies de tolérance à la salinité les plus connues est la compartimentation des ions (Na^+ , Cl^-) en excès dans les tissus. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (Niu, 1995) et éventuellement à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (Munns, 1993) sont encore largement inconnus.

c. Ajustement osmotique :

Selon El Midaoui et *al.*, (2007), l'un des principaux caractères physiologiques est réalisé grâce à une accumulation de composés osmo régulateurs qui peuvent être des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains amino-acides (proline, glycine bêtaïne, β -alanine bêtaïne, proline bêtaïne) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

d. Régulation de la croissance :

D'après Zhu (2001), la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

e. Le contrôle membranaire :

L'adaptation au stress salin se met en place également au niveau des membranes cellulaires (membrane plasmique, tonoplaste). La modification qualitative et quantitative des aquaporines (protéines transmembranaires) est par exemple un processus capable de modifier la conductivité hydrique de la plante et de favoriser de restreindre les mouvements d'eau (Yeo, 1998).

1.18. L'adaptation des végétaux à la salinité :**1.18.1. L'adaptation morphologiques :**

La succulence, qui se traduit par une accumulation d'eau dans les cellules constitutives des tissus des organes aériens, est l'un des caractères les plus communs aux halophytes. La succulence des cellules foliaires augmente, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles sont l'une des modifications qui apparaît de façon plus importante chez les espèces les plus tolérantes. On note de plus la réduction de la surface foliaire, (Raache et Karboussa-Haloua, 2004); la présence d'une cuticule épaisse et l'apparition plus précoce de la lignification de quelques organes chez les plantes de types incluser, les flux de sodium sont essentiellement ascendants (en rose) et le sel est accumulé dans les parties aériennes. Chez celles de type excluser, la plus grande partie du sodium véhiculé vers les feuilles est réexporté vers les racines via le phloème (en bleu). Les intensités relatives des flux sont symbolisées par la largeur des traits à la fin de leur cycle de vie (Poljakoff-Mayber, 1975).

1.18.2. L'adaptation physiologique :

En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes, entre autres, physiologiques et biochimiques impliquant une activité enzymatique (Chaffei et al., 2004)

***L'ajustement osmotique :** L'ajustement osmotique est un processus par lequel le potentiel hydrique de la plante peut être diminué sans être accompagné d'une baisse de la turgescence Rasanen (2002) ; définissent l'ajustement osmotique comme une accumulation active de solutés par la plante en réponse au déficit hydrique croissant dans le sol et/ou la plante en

maintenant la turgescence ou en réduisant le taux de perte de celle-ci, comme réponse à la baisse du potentiel hydrique.

L'ajustement osmotique est l'un des mécanismes adaptatifs principal, qui comporte l'accumulation des molécules en réponse à un stress hydrique (Zhang et *al.*, 1999) grâce à l'induction des gènes impliqués dans la synthèse des acides aminés comme la proline, la glycine bêtaïne des hormones tels que l'acide abscissique (Belkhodja et Ouis, 2009).

***L'accumulation de proline :** L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement (Belkhodja et Benkabilia, 2000). Chez les halophytes, la proline est un marqueur intéressant pour évaluer leur résistance au stress salin (Belkhodja et Bidai, 2007). L'accumulation des solutés compatibles induit une diminution du potentiel hydrique et permet l'absorption de l'eau de l'environnement.

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Tahri et *al.*, 1998).

***L'accumulation de sucre :**

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, il a été observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (Asloum, 1990).

1.19. Possibilités de réduction de la salinité:

Les méthodes employées pour récupérer, améliorer et aménager les sols salins sont très nombreuses.

1.19.1. Lixiviation :

Le lessivage est une technique qui consiste à dissoudre les sels accumulés dans le sol par des apports d'eau importants et à les entraîner en dessous de la zone racinaire par le mouvement descendant de l'eau (Anonyme, 2006).

1.19.2. Drainage :

Le drainage selon la FAO, est une technique de suppression naturelle ou artificielle des excès d'eau souterraine et de surface des sels dissous dans les terres afin d'améliorer la production agricole. Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'aux lacs, fleuves et rivières. Dans le système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface. Le drainage a pour objectif :

- 1- D'évacuer l'excès d'eau de pluie par les drains de surface qui recueillent essentiellement l'écoulement de surface.
- 2- De contrôler la profondeur de la nappe et de lessiver les sels dans la rhizosphère.

- 3- De transporter l'eau récupérée dans les drains secondaires jusqu'au collecteur.
- 4- De transporter l'eau des collecteurs jusqu'à l'exutoire du système ou au site d'évacuation. (Anonyme, 2006).

1.19.3. Irrigation :

Le système d'irrigation goutte-à-goutte est une technique moderne, plus sophistiquées mais plus efficace puisqu'elle permet de diminuer la consommation d'eau, aujourd'hui mis en œuvre dans les pays les plus riches (C.N.R.S ; 1999).

Dans son principe, la goutte à goutte, ou l'irrigation localisée, n'est en fait qu'une amélioration des techniques traditionnelles (Alexandre et *al.*, 1977).

Il consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines de chacune des plantes et à la distribuer au compte goutte, en surface ou en souterraine à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrés. Bien menée, cette technique permet de notablement diminuer la consommation d'eau ; elle n'humidifie que la portion de sol située au voisinage immédiat des racines et elle limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde. (Safrane, 1975)

2.1.L'objectif de travail:

Notre travail consiste à l'étude de l'effet de stress abiotique salin sur la croissance des plantules du pistachier de l'Atlas.

Cette expérimentation permet de suivre la réaction, la tolérance ainsi que l'adaptation des plantes de pistachier de l'Atlas aux conditions extrêmes et difficiles.

2.2.Site d'expérimentation :

Notre travail est réalisé au sein du laboratoire d'amélioration des plantes du département des biotechnologies de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Saad Dahleb Blida 1.

La mise en place des plantules s'est déroulée dans une serre mono chapelle, de superficie est de 208 m² dont l'orientation est Nord-Sud (figure 2.1) et recouverte par un film plastique de nature polyéthylène. L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autre. Le chauffage de la serre en période froide est réalisé à l'aide de radiateurs à eau chaude.



Figure 2.1 : Présentation du site d'étude expérimentale (Google earth, 2015).

La flèche indique l'abri serre tunnel recouvert d'un film plastique souple en polyéthylène.

2.3.Matériel végétal et conditions de culture :

Au cours de notre expérimentation, nous avons utilisé des graines de pistachier de l'Atlas. Les graines ont été récoltées en 2017 sur des arbres adultes poussant naturellement dans la région de Had Shari dans la wilaya de Djelfa (figure 2.2).

ont été récoltées sur des arbres conservées à l'abri de l'humidité dans un sachet en papier Kraft au freezer à 4°C pendant une période d'un mois pour lever leur dormance.

Pour faire germer les semences, on doit suivre les étapes suivantes :

- Choix des semenciers.
- Uniformisation des échantillons (même calibre).
- éliminer les graines qui flottent et décortication des brous.



Figure 2.2. Fruit de *Pistacia atlantica* Desf. destinées à la germination (Originale, 2019).

2.4. Préparation des graines :

Le tri densimétrique des graines par flottage dans de l'eau est d'un usage (qui a permis d'éliminer les graines vides). La levée de la dormance est une étape primordiale pour cette espèce végétale. Pour cela nous avons adopté les prétraitements suivants :

- Une stratification consistant à faire subir aux semence un traitement au froid à une température de 4°C pendant 30 jours.
- Elimination de l'épicarpe, qui consiste à tremper les graines dans de l'eau distillé stérile pendant 24 heures afin de ramollir l'épicarpe.
- Scarification mécanique qui consiste à enlever l'épicarpe à la main.
- Trempage des graines dans l'hypochlorite de calcium pendant 10min.
- Rinçage abondant à l'eau distillée afin d'éliminer toute trace de l'hypochlorite de calcium (3 rinçages).

2.5. Germination :

La germination a été réalisée dans des boîtes de Pétri en plastique de 9 cm de diamètre contenant du papier filtre imbibé d'eau distillée stérile. Chaque boîte comprend 15 graines avec cinq (5) répétitions (figure 2.3).



Figure 2.3: Germination des graines dans les boites de pétri (Originale, 2019).

Les boîtes sont déposées dans une étuve réglée à $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 10 jours. Les graines ont été arrosées par l'eau distillée stérile jusqu'à l'émission de leurs premières radicelles (figure 2.4).



Figure 2.4: germination des graines de pistachier (Originale, 2019).

2.6.Repiquage des plantules :

Après germination des graines, un repiquage des jeunes plantules est réalisé individuellement dans des gobelets du couleur blanc en plastique. Ces derniers sont remplis de substrat. Le substrat utilisé est composé de tourbe (figure 2.5).



Figure 2.5: Repiquage des plantules dans des gobelets (Originale, 2019).

Les jeunes plantules ont été arrosées avec l'eau du robinet pendant 45 jours. Elles ont été repiquées pour la deuxième fois dans des pots avec un substrat constitué de tourbe et arrosées avec l'eau de robinet durant 20 jours pour favoriser leur reprise avant l'application du stress en serre.



Figure 2.6: Repiquage des plantules dans des pots (Originale, 2019).

2.7.L'effet du stress salin au stade plantule

L'application du stress salin a été effectuée par les différentes concentrations préparées de Na Cl.

T₀ : Témoin (0 g/l de Na Cl).

T₁ : 16g/l de Na Cl

T₂ : 20g/l de Na Cl

T₃ : 24g/l de Na Cl

T₄ : 28g/l de Na Cl

Les plantules sont arrosées un jour sur deux à raison de 100 ml/pot, avec les solutions salines préparées.

2.8.Dispositif expérimental

L'affectation de la dose des traitements est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de cinq(5) niveaux : T₀, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ en randomisation totale. Le nombre de répétition par traitement est de 10 observations pour évaluer la part de l'erreur expérimentale dans la construction de l'observation, avec une totalité de 50(5*10) plants (figure 2.6).

	T ₁ (16g/l de Na Cl)	T ₂ (20g/l de Na Cl)	T ₃ (24g/l de Na Cl)	T ₄ (28g/l de Na Cl)
				
				
				
				
				
				
				
				
				
				

Figure2.7: Dispositif expérimental adopté au stade plantule (stress salin).

2.9. Paramètres étudiés :

Afin de déterminer l'effet des différents traitements de Na Cl sur les plantules du pistachier de l'Atlas, des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés.

2.9.1. Taux de germination :

Le comptage consiste à dénombrer quotidiennement le nombre de graines germées dans chaque boîte de Pétri. Une graine est considérée germée lorsqu'elle émet une radicule et une gemmule de 1mm.

La formule du taux de germination :

$$\text{Taux de germination (\%)} = \frac{\text{Nombre des semences germées}}{\text{Nombre des semences totales}} * 100$$

2.9.2. Paramètres physiologiques au stade plantules :

Ces paramètres permettent de mesurer l'évolution des plantules au cours de temps.

2.9.2.1. Croissance en longueur :

À la fin d'application des stress salin et hydrique nous avons procédé à l'arrachage des plantules.

La croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire est évaluée après avoir récolté les plantules. Nous avons alors séparé la partie aérienne (tige) de la partie souterraine (les racines).

Pour cela, nous avons lavé soigneusement les racines avant de les sécher rapidement avec du papier filtre.

La longueur de la tige et de la racine principale est mesurée en centimètres (cm) à l'aide d'une règle graduée.

2.9.2.2. Nombre de feuilles :

Ce paramètre a été réalisé au moment de la coupe, le principe consiste à faire un comptage des feuilles pour chaque plantule.

2.9.3. Paramètres physiologiques :

2.9.3.1. Dosage de la chlorophylle :

Pour chaque essai nous avons prélevé 0.1 mg de matière végétale sur les tiers médians des feuilles. Les fragments végétaux sont broyés dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75% et 25%) de volume et (80% et 40%) de concentration. Le mélange est mis dans des tubes à essais et placé à l'obscurité pendant 48 heures. La densité optique (DO) de la totalité des surnageants obtenus est mesurée à 470 nm et 645 nm et 663 nm (spectrophotomètre Perkin Elmer Lambda 5 U.V).

La mesure de la chlorophylle est calculée selon la méthode de **Francis et al., (1970)** :

$$\text{- Chl (a) (mg /g MF) = } 12.6 * \text{DO}_{663} - 2.59 * \text{DO}_{645} * \text{V} / (1000 * \text{W})$$

$$\text{- Chl (b) (mg /g MF) = } 22.9 * \text{DO}_{645} - 4.68 * \text{DO}_{663} * \text{V} / (1000 * \text{W})$$

$$\text{- Chl (c) (mg /g MF) = } 1000 * \text{DO}_{470} - [1.82 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b}] / 214$$

V: volume de solution extraite.

W: poids de la matière fraîche de l'échantillon.

2.9.4. Paramètres biochimiques :

2.9.4.1. Dosage de la proline des feuilles et racines :

La méthode utilisée est celle de Troll et Lindsley, (1955), améliorée et citée par Dreier et Garing (1974).

Cette technique consiste à prendre 100 mg de matière végétale sur le tiers médian de l'avant dernière feuille puis à ajouter 2 ml de méthanol à 40 %. Le mélange est chauffé au bain-Marie à 85 °C pendant 60 mn. Après refroidissement, 1 ml de l'extrait est prélevé auquel, nous avons ajouté :

- 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH),
- 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$),
- 1 ml de mélange contenant :
 - 120 ml d'eau distillée.
 - 300 ml d'acide acétique.
 - 80 ml d'acide ortho-phosphorique (H_3PO_4 , $d=1.7$).

Le mélange est porté à ébullition pendant 30 minutes où la solution devient rougeâtre.

• 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée. Deux phases se séparent, on laisse refroidir et après avoir déshydraté la phase supérieure par l'ajout d'une spatule de sulfate de sodium (Na_2SO_4 anhydre), la densité optique (DO) est mesurée à 528 nm en utilisant le spectrophotomètre.

• Les valeurs obtenues sont converties grâce à un courbe étalon construit à partir d'échantillons contenant des quantités de proline connues.

• La lecture de la densité optique des échantillons se fait au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm.

- La détermination de la teneur en proline est réalisée selon la formule :

$$\text{Proline (mg/g MF)} = \text{DO}_{528} \times 0.62.$$

2.9.4.2. Dosage des sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantules selon la méthode de Dubois, (1956). La méthode de l'extraction des sucres solubles est comme suit :

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale (feuilles) dans des tubes à essai puis ajouter 2ml d'éthanol à 80%. Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h.
- Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à $70 \pm 4^\circ\text{C}$.
- Après refroidissement, on ajoute 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai.
- Prendre 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5% et bien agiter.
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai puis les passer au vortex. Laisser reposer pendant 10 mn puis les passer au bain marie pendant 15mn à 30°C .
- Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

La détermination de la teneur en sucres solubles est réalisée selon la formule :

$$\text{Sucres soluble } (\mu\text{g/g MS}) = \text{DO}_{(490)} \times 1.657.$$

2.10. Analyse statistique :

Tous les essais réalisés ont subi trois répétitions. Stade germinatif répétés quatre fois, mesures des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques en relation avec la tolérance à la salinité. On a fait une ANOVA et les résultats sont présentés sous forme d’histogrammes, ils correspondent le plus souvent à des valeurs moyennes et leurs écart-types.

L’analyse s’est faite à l’aide du logiciel EXCEL 2013.

3.1. Taux de germination :

La figure 3.1 montre le taux de germination des graines du pistachier d’atlas provenant de la région de Had shari (W de Djelfa).

La mise en germination est faite à raison de 15 graines par traitement et a raison de 5 boites. Elles sont arrosées avec de l’eau distillées.

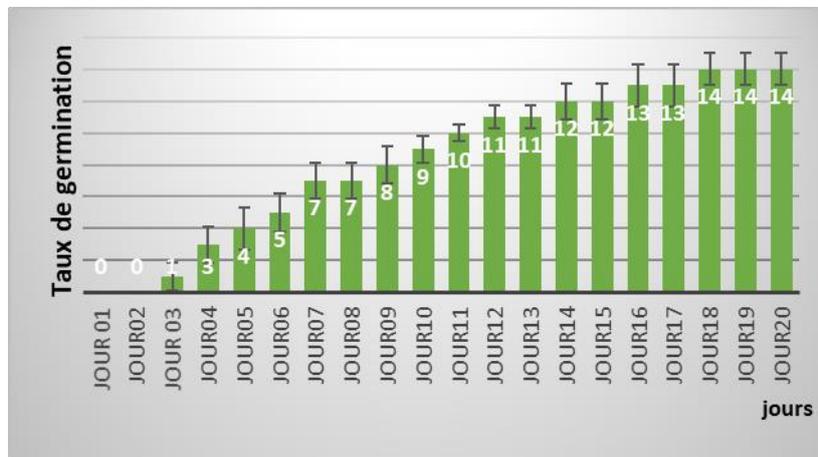


Figure3.1 : Taux de germination des graines de Pistacia atlantica

Les graines sont considérées germer lorsque la radicule perce le tégument. Le dénombrement des graines ayant germé est effectué tous les jours.

On constate que le taux de germination des graines augmente chaque jour, Jusqu’au 20 éme jour où l’on a observé 80% des graines germées. Les résultats obtenus indiquent que les graines étudiées montrent des signes d’une dormance due à l’impermeabilité de leur tégument. Ceci pourrait être dû à la dureté du tégument des graines de *pistacia atlantica Desf.* Les résultat obtenus, sont similaires à celles décrits par Jouadi et al.(2010) pour les graines d’Acacia tortilis. Cependant, des traitements similaires sur une fabacée Retama monosperma (trempage des graines dans acide sulfurique pendant 1,2 et 3 heures), n’ont permis aucune amélioration des taux de germination .la durée optimale de trempage paraît être en rapport avec la dureté des tégument. Chez l’arganier (*Argania spinosa L*) réputée par la dureté de son tégument, aucune graine trempée dans de l’H2SO4 concentré penant 48 heures ne germe .Guerrouj et al.(2015) signalent l’effet néfaste de l’acide sulfurique sur les graines de *Medicago arborea* qui se sont montrées très sensibles à un traitement chimique par acide sulfurique d’une durée de 4 minutes.

3.2. Paramètres morphologique au stade plantule :

3.2.1. Longueur de tiges :

Les résultats obtenus montrent que les différentes concentrations de NaCl dans le milieu ont un effet sur la croissance en longueur des tiges chez *Pistacia atlantica* diminution de la longueur de la tige est observée dès que la concentration en NaCl dépassé 16 g/l, pour le traitement T2 (20g/l) suivi de traitement T3 (24 g/l) où la longueur moyenne et plus faible avec 6.97 et 6.55 cm respectivement, elle continue diminuer jusqu'à 6.52 cm pour le traitement T4 (28 g/l).

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la longueur des tiges pour les différents traitements ($p=0.0026$) (**annexe 2**).

Nos résultats sont en accord avec ceux de Lemzeri I, (2006), où il signale que l'augmentation de la salinité induit une diminution de la croissance de la partie aérienne notamment d'*Acacia cyanophylla* et d'*Eucalyptus gomphocephala*.

Ainsi, (Benmahioul et al., 2009) signalent que la présence de NaCl dans la longueur de la tige, résultats similaires à ceux obtenus lors de notre expérimentation.

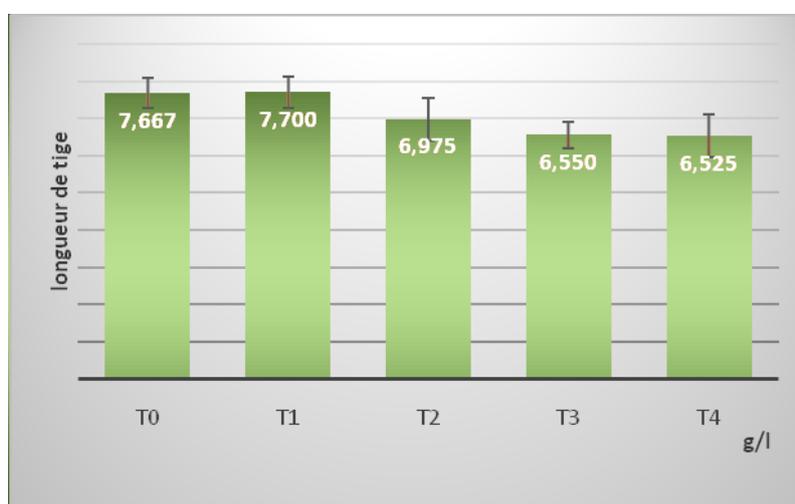


Figure 3.1 : longueur de tige

3.2.2. Longueur de racine

Les résultats obtenus montrent que le stress salin induit par les différents traitements de NaCl n'influe pas que sur la croissance en longueur de la partie aérienne mais également celle de la partie souterraine.

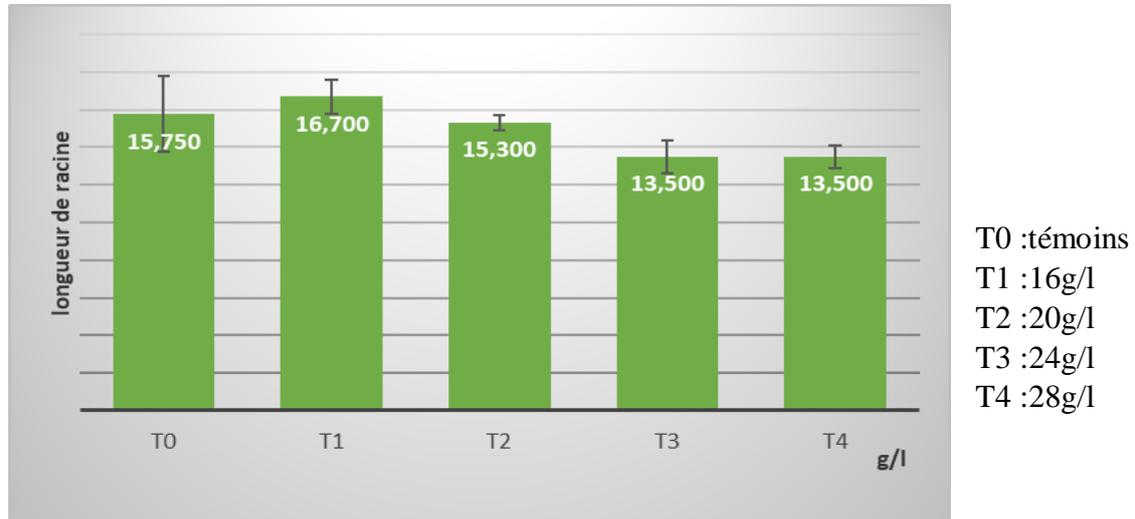


Figure3.2 :longueur de racine des plantules de *Pistacia atlantica* Desf

L'allogement le plus important de la racine est enregistré au niveau de traitement T1 (16g/l) avec 16,7cm. Le témoin (T0) et T2 (20g/l) enregistrent des longueurs de la racine principale moyenne respectivement de 15,75 et 15,30 cm. Les traitements T3 (24g/l) et T4 (28g/l) induisent une faible augmentation de la longueur de la racine par rapport aux précédents concentrations avec des valeurs constantes de 13,50cm.

L'analyse de variance à un critère de classification confirme ces résultats en montrant une différence très hautement significative entre les moyennes de la longueur des racines chez le *Pistacia atlantica* ($p=0,0047$) (**annexe 3**)

Nos résultats s'accordent avec les travaux de Araujo et al., (2006) qui ont étudié l'effet du NaCl sur *Atriplex numularia* où ils signalent une modification induite par la salinité sur la longueur des racines.

3.2.3. Nombre de feuilles :

Les résultats obtenus montrent que le stress salin induit par les différents traitements de NaCl influe sur le nombre de feuilles.

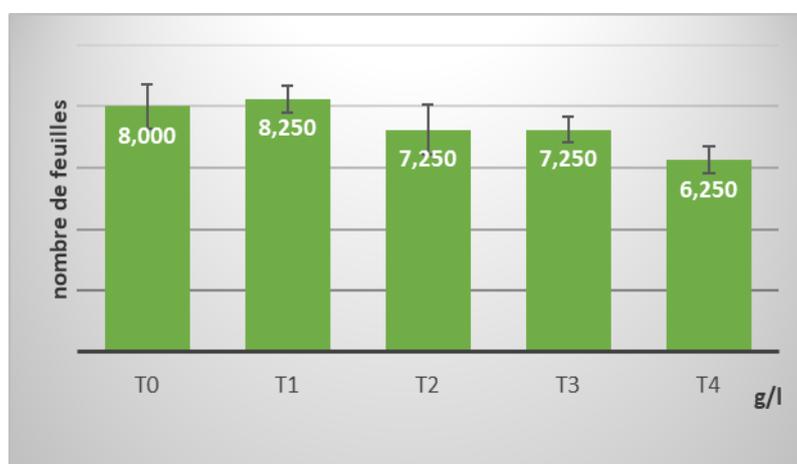


Figure 3.3 : nombre de feuilles des plantules stressés

Le nombre de feuille le plus important est enregistré au niveau T1 (16 g/l) et T0 avec 8 feuilles. Les traitements T2 (20 g/l) et T3 (28 g/l) enregistrent des nombres de feuilles similaires allant à 7 feuilles. Le traitement T4 (28 g/l) induit un faible nombre feuille par rapport aux précédantes concentrations avec une valeur c de 6 feuilles.

L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats en montrant une différence très hautement significative entre les moyennes des nombres de feuilles chez le *Pistacia atlantica* ($p=0.008$) (**annexe4**).

Nos résultats s'accordant avec ceux de Epron et al., (1999), qui soulignent que le nombre de feuilles des plantes d'*Atriplex numularia* qui est affectée en présence de NaCl.

3.3. Paramètre physiologiques :

3.3.1. Teneur en chlorophylle :

Les résultats obtenus montrent que le stress salin influe sur la moyenne de la teneur en chlorophylles (a), (b) et (c) chez le pistachier de l'Atlas (Figure 3.5, 3.6 et 3.7).

3.3.1.1. Chlorophylle (a) :

La moyenne la plus élevée de la teneur en chlorophylle (a) est enregistrée pour le traitement T0 avec 1.882mg/l MF (Figure 3.2). Les plantules T1 (16g/l) enregistrée 1.136 mg/g MF. Les plantules traitées à 20 et 24g/l de Na Cl présentent des moyennes de teneurs en chlorophylle (a) moins élevées. Avec respectivement 0.592 et 0.537 mg/g MF.

Au-delà, de cette concentration ce paramètre subit une diminution pour les plantules traitées par 28 g/l avec 0.333 mg/g MF (**annexe 5**).

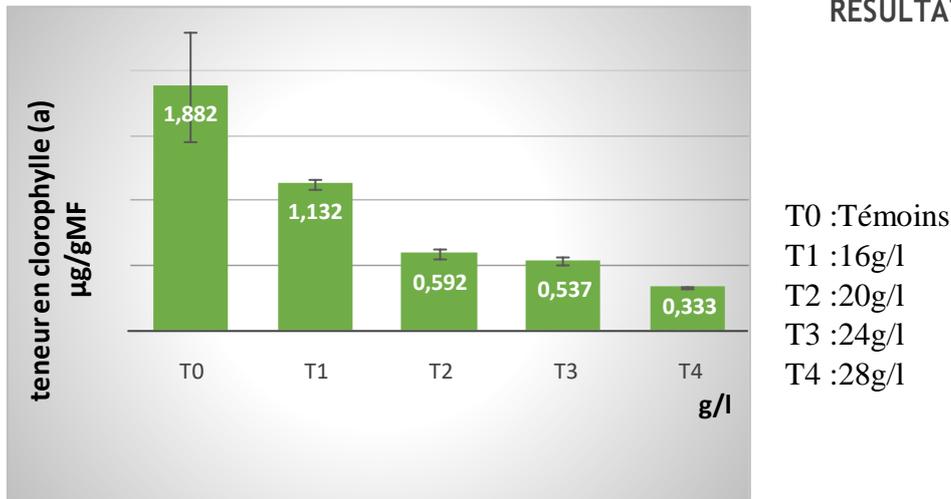


Figure 3.4 :Teneur en chlorophylle (a)

Le stress salin induit de grandes variations de la teneur en chlorophylle (a). L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats et montre qu'il y a une différence très hautement significative ($p=0,00011$).

3.3.1.2. Chlorophylle (b)

Les moyennes les plus élevées de la teneur en chlorophylle (b) est enregistrée chez les plantules traitées à (16 g/l) (T₁) une valeur maximale de 0.370 µg/g MF et le témoin avec la valeur de 0.340 µg/g MF, suivis de 0.313 et 0,262 µg/g MF respectivement avec 20 et 24g/l. La valeur minimale est enregistrée chez les plantules de traitement T₄ (28g/l) avec en moyenne de 0,116 µg/g MF (Figure 3.3).

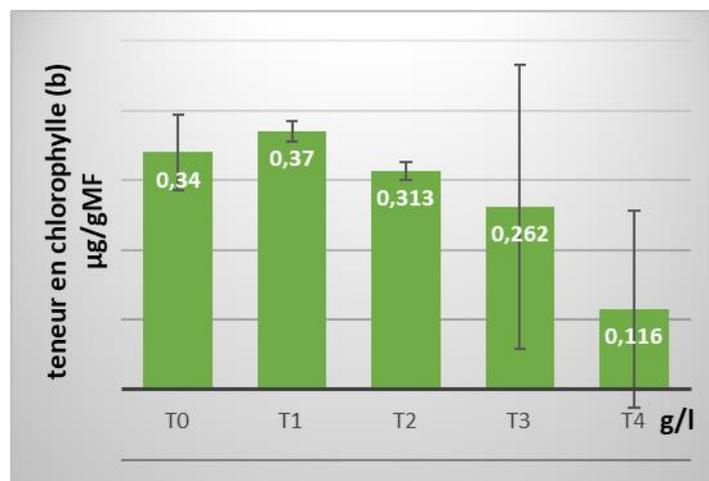


Figure 3.5: Teneur en chlorophylles (b).

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les moyennes de la chlorophylle (b) ($P = 0,00$) (Annexe 5).

3.3.1.3. Chlorophylle (c)

La moyenne la plus élevée de la teneur en chlorophylle (c) est enregistrée chez les plantules témoins (T₀) avec 2,015 µg/g MF (Figure 3.4) et les plantules T₁ (16g/l) avec 1,783 µg/g MF. Les plantules traitées à 20 et 24 g/l (T₂ et T₃) enregistrent des moyennes de teneur en chlorophylle (c) oscillent entre 1,155 et 0.852 µg/g MF. Au-delà, de cette concentration, ce paramètre subit une diminution pour les plantules traitées par 28 g/l avec 0.47 µg/g MF.

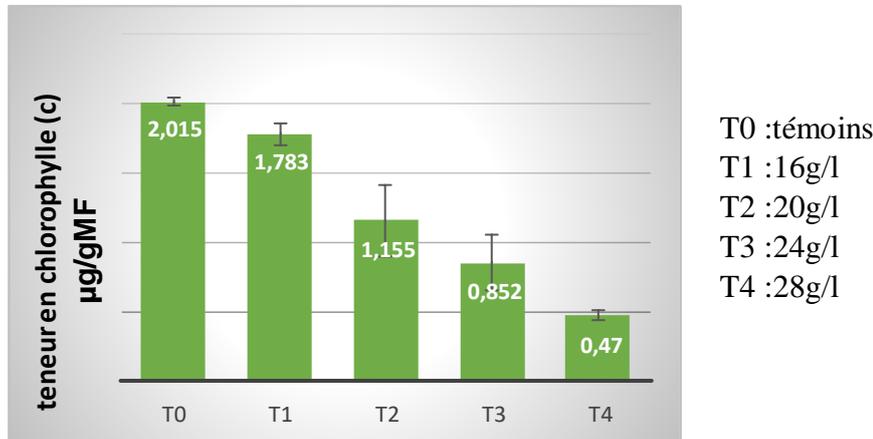


Figure3.6 :Teneur en chlorophylles(c).

L'analyse de la variance à un critère de classification montre une différence très hautement significative de moyenne (P=0,0031) pour la teneur en chlorophylle (c) (**Annexe 5**).

Ces résultats sont conformes avec plusieurs études réalisées sur différentes plantes (El jaafari, 2000). En conditions de stress salin, il s'avère le contenu de la chlorophylle diminue considérablement chez les plants spontanés d'*Arabidopsis thaliana* en comparaison avec les plants mutants (MITSUYA *et al.* 2006).

1.3. Paramètres biochimiques

1.3.1. Teneur en proline des feuilles et des racines

1.3.1.1. Teneur en proline des feuilles

La figure 3.8 montre que Chez le *Pistacia atlantica*, l'accumulation de la proline, dans les feuilles augmente progressivement avec l'intensité du stress salin. La teneur en proline s'élève à 2,168 ; 2,09 et 2,05 µg/gMF pour les concentrations de 20 ; 24 et 28g/l de Na Cl respectivement comparé au témoin et au traitement T0 (0 g/l) qui enregistrent des valeurs plus faibles de l'ordre de 0.066 µg/gMF (Figure 3.5). Les plantules traitées à 16 g/l (T1) enregistrent des moyennes de teneur en proline qui arrivent jusqu'à 1,671 µg/g MF.



Figure 3.7 : Teneur en proline dans les feuilles des plantules

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative pour le facteur traitement ($p=0.009$) (**Annexe 6**).

L'accumulation de la proline augmente significativement avec l'augmentation de la concentration de la salinité (Belkhodja et Bidai, 2007). Selon Monneveux (1989), c'est une forme d'ajustement du potentiel osmotique. L'une des causes de l'accumulation de la proline serait aussi une protéolyse membranaire, la proline pourrait s'accumuler suite à une perturbation du métabolisme des protéines (Bezzala, 2005).

Une étude sur *Vigna sinensis*, montre le même comportement de cette espèce face au stress salin (Lotmani et al., 1998 ; Mekhaldi, 2007). La proline est la substance qui s'accumule dans les tissus végétaux soumis au stress abiotiques et constitue un moyen de tolérance à la salinité (Zid et Grignon, 1991).

3.4.1.2. Teneur en proline des racines

La figure 3.9 montre que Chez le *Pistacia atlantica*, l'accumulation de la proline, dans les feuilles augmente progressivement avec l'intensité du stress salin. La teneur en proline s'élève à 3,152 et 3,091 $\mu\text{g/g MF}$ pour les concentrations de 24 et 28g/l (T_4 et T_3) de Na Cl respectivement. Les plantules stressées avec une concentration de 20 g/l (T_3) enregistrent des moyennes en teneur de proline chez les racines de 2,671 $\mu\text{g/g MF}$ et 1,136 $\mu\text{g/g MF}$ pour les plantules stressées avec une concentration de 16 g/l. les plantules témoins présentent une moindre teneur en proline chez les racines de 0,043 $\mu\text{g/g MF}$.

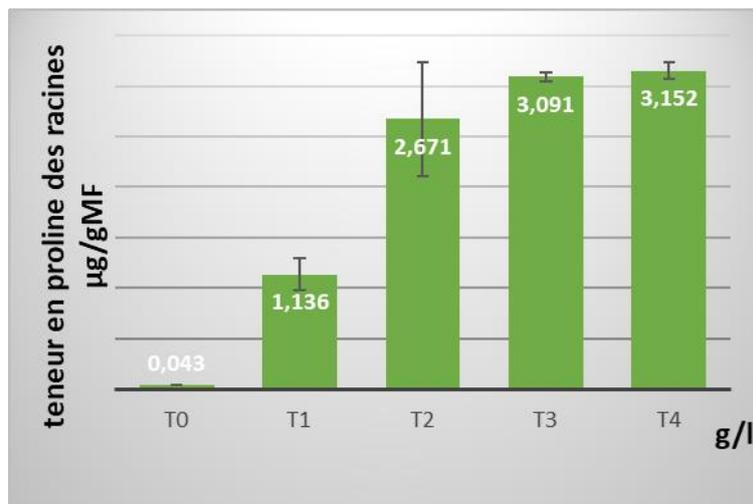


Figure 3.8: Teneur en proline dans les racines des plantules

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative pour le facteur traitement ($p=0.008$) (**Annexe 7**).

BOUCHOUKH, (2010) signale lui aussi que l'accumulation de la proline chez les épinards est variable selon les variétés. Elle augmente en fonction de la concentration de Na Cl dans le milieu

3.4.2 Teneur en sucres solubles

La figure 27 montre les variations des teneurs en sucres solubles analysées dans les feuilles des plantules de *Pistacia atlantica Desf.*, ils augmentent progressivement et s'accumulent beaucoup plus chez les plantules stressées à 24 et 28 g/l avec respectivement 1,782 et 1,696 µg/g MF comparés au témoin qui enregistrée la valeur la plus faible avec 0.261 µg/gMF. Pour le dosage de 16 g/l, la teneur en sucres augment jusqu'à (0,467 µg/g MS), puis à (1,325 µg/g MS) pour les plantules stressées à 20g/l. Le sucre continue à augmenter lorsque la concentration s'élève et arrive à (28 g/l)

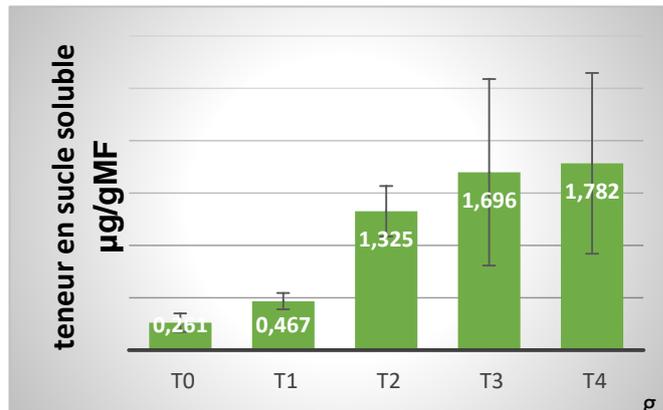


Figure3.9 : Teneur en sucres solubles dans les feuilles des plantules.

Ce résultats est confirmé par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en sucres solubles pour les différents traitements : ($p = 0,0041$) (**Annexe 8**).

La très faible accumulation de sucres solubles dans nos échantillons est légèrement similaire à l'étude comparative menée par Zid et Grignon (1991) sur le haricot (espèce très sensible), le riz (sensible), le soja (moyennement sensible) et le cotonnier (tolérant). En effet, les résultats révèlent que la teneur en saccharose des feuilles augmente considérablement chez le haricot et plus faiblement chez le riz. Par contre, elle diminue légèrement chez le soja et plus fortement chez le cotonnier. Ceci nous informe peut être sur la tolérance de notre espèce aux sels et qui réagit quelque peu comme le cotonnier qui est une espèce résistante.

